Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 2, Summer 2022, p. 219-233

Spatial Multi-Criteria Analysis of Ecological Land Suitability for Irrigated Farming

V. Panah-Nezhad[1], N. Ahmadi Sani[1*], and A. Javanmard[1]

Received: 20-06-2020 Revised: 01-03-2021 Accepted: 08-03-2021 Available Online: 14-09-2022	**How to cite this article:** Panah-Nezhad, V., Ahmadi Sani, N., and Javanmard, A., 2022. Spatial multi-criteria analysis of ecological land suitability for irrigated farming. Journal of Agroecology 14(2):219-233. DOI: 10.22067/agry.2021.20290.0

Introduction

Agriculture plays a central role in countries' food and economic security, and population growth has increased dependence on it. The Nazluchai basin is one of the important areas for agriculture in Iran, and improper land use has destroyed water and soil resources in the area. One way to improve this situation is land suitability assessment. Land suitability analysis is a multi-criteria decision-making process based on a spatial information system. On the other hand, various systems analyze descriptive and spatial data. However, the Geographic Information System is one of the best methods to acquire, edit, process, and manage data quickly, accurately and simultaneously in large volumes. However, this system also has limitations in decision making. Therefore, the integration of geographical information system with Multi-Criteria Evaluation methods, including Analytical Hierarchy Process, has been proposed as a land suitability assessment method. Therefore, the aim of this study is to investigate the ecological suitability for irrigated farming in a part of Nazluchai with an area of 23314 hectares using multi-criteria evaluation within the analytical hierarchy process and geographical information system.

Material and methods

At first, the parameters affecting the ecological land suitability for irrigated farming were identified, and the necessary data were collected and mapped using Geographic Information System. The criteria and sub-criteria were weighed based on expert opinions within Analytical Hierarchy Process. The homogeneous units were prepared by combining the sub-criteria standardized maps. The main limiting criteria in this study, including a slope less than 8% and a water quantity less than 3,000 liter/ha/year, were involved in the Boolean logic analysis. The ecological land suitability map for irrigated farming was generated using the Linear Weight Combination method and was classified into unsuitable, marginally, moderately, and highly suitable classes.

Results and discussion

In the current land use map, 46.4% of the area was used for irrigated cultivations, 32.2% for range-dry farming on slopes above 30%, 12.6% for dry farming on slopes of 12-30%, and 0.8% was allocated to dry farming in areas with a slope less than 12%. Rocky and bare lands also cover 8% of the area. The matrix of the main criteria includes the landform, climate, soil, and water resources. Water resources have the highest weight for irrigated farming, and climate and soil are in the next rank. According to experts, the most important sub-criteria for assessing land suitability for irrigated farming are water quantity, temperature, texture, and soil fertility. Therefore, water

1- M.Sc. of Agroecology, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Agroecology, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Maragheh University, Iran.
* Corresponding Author's Email: n_sani@iau-mahabad.ac.ir
DOI: 10.22067/agry.2021.20290.0

resources are one of the most important and limiting resources to agriculture development in the basin, affecting other ecological resources. The ecological suitability map showed that 28.2% of the study area is the best area for irrigated farming, i.e., highly suitable class, 16.4% is moderately suitable class and 8% is marginally suitable class. 47% of the study area was classified as unsuitable for irrigated farming. In ecological suitability and current land-use maps, there is about 11% mismatch, and in 89% of the area, current land use is compatible with the ecological suitability of the study area. The results also show that integrating remote sensing, spatial information systems, analytical hierarchy processes, and weighted linear combinations is useful and effective for assessing land suitability and land-use planning.

Conclusion

This study is an important and useful regional guide for agricultural land planning. In order to prevent degradation, land suitability assessment, and optimal management, based on the principles of land-use planning using such new techniques and technologies, can be a fundamental solution for the relevant organizations. It is important to resolve environmental problems and create the conditions for sustainable development.

Keywords: Land use, Multi-Criteria Evaluation, Spatial Analysis, Sustainable Agriculture

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تحلیل چندمعیاره مکانی تناسب اکولوژیک اراضی حوضه نازلوچای برای کاربری زراعت آبی

وحیده پناه‌نژاد[1]، ناصر احمدی ثانی[2]* و عبدالله جوانمرد[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۸

پناه‌نژاد، و.، احمدی ثانی، ن.، و جوانمرد، ع.، ۱۴۰۱. تحلیل چندمعیاره مکانی تنا سب اکولوژیک ارا ضی حو ضه نازلوچای برای کاربری زراعت آبی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۲):۲۳۳-۲۱۹.

چکیده

حوضه نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، یکی از مناطق مهم برای کشاورزی در ایران است که استفاده نادرست از اراضی، اتلاف منابع آب و خاک را در پی دا شته ا ست. بنابراین، هدف از این مطالعه برر سی تنا سب اکولوژیک برای کاربری زراعت آبی در بخ شی از ارا ضی حو ضه نازلوچای با مساحت ۲۳۳۱۴ هکتار با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره در قالب تحلیل سلسله مرتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. به‌این منظور پارامترهای مؤثر بر ارزیابی تناسب اکولوژیک برای کاربری زراعت آبی شامل شکل زمین (شیب، جهت و ارتفاع)، خاک (بافت، حاصلخیزی، اسیدیته، عمق، زهکشی، فرسایش، شوری، درصد آهک و کربن آلی)، اقلیم (بارندگی، دما و رطوبت نسبی) و منابع آب (دبی آب) شناسایی، داده‌های لازم جمع‌آوری و نقشه‌سازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد. وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها براساس نظرات کارشنا سی (۲۰ نفر) در قالب روش تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت. واحدهای همگن با روی هم‌گذاری نقشه‌های استاندارد شده زیرمعیارها و نقشه توان اکولوژیک با روش ترکیب خطی وزنی تهیه شد. نقشه تنا سب اکولوژیک ن شان داد که ۴۲ در صد از منطقه فاقد توان، ۲۸/۵ در صد منطقه دارای بالاترین توان، ۱۷/۵ در صد سطح دارای توان متو سط و ۱۲ در صد از منطقه دارای توان کم برای ک شت‌های زراعی آبی می‌با شد. در نق شه‌های تنا سب اکولوژیک و کاربری فعلی حدود ۱۴ در صد عدم تطابق وجود دارد و در ۸۶ درصد منطقه کاربری‌های فعلی با توان طبیعی منطقه سازگاری دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چندمعیاره، تحلیل مکانی، کاربری اراضی، کشاورزی پایدار

مقدمه

ک شاورزی نقش مهمی در ر سیدن به تو سعه پایدار بر عهده دارد (Roig-Tierno et al., 2013; Worqlul et al., 2017). امّا از سوی دیگر، رشد جمعیت، گسترش فعالیت‌های انسان، کاربری‌های نامناسب و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب، خاک و پو شش گیاهی، عر صه‌های و سیعی را در معرض تخریب قرار داده ا ست (Bayat et al., 2011; Mousavi et al., 2017). کمبود آب، تغییرات اقلیم و رشـــد مداوم تقا ضای آب نیز ف شار شدیدی روی منابع آب شیرین با کیفیت ایجاد کرده است (Paul et al., 2020). بنابراین، انسان در مواجهه با طبیعت شـــیوه معقولی را اتخاذ نکرده اســـت و به‌جای برنامه‌ریزی برای

۱- کارشناس ارشد اگرواکولوژی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت و اگرواکولوژی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
*- نویسنده مسئول: Email: n_sani@iau-mahabad.ac.ir

DOI: 10.22067/agry.2021.20290.0

بهره‌برداری پایدار به استفاده ناپایدار پرداخته است (Pourkhabbaz et al., 2015). در ایران نیز، در بسیاری از مناطق، انتخاب کاربری بدون توجه به توان سرزمین انجام می شود که سبب اتلاف سرمایه و کاهش ظرفیت محیطی می‌گردد (Bayat et al., 2011).

استان آذربایجان غربی یکی از مناطق مستعد کشاورزی در ایران است که اراضی آن بیش از ۵/۶ در صد کل اراضی زراعی کشور را شامل می‌شود. زراعت آبی و دیم از گذشته در این استان مرسوم است و درحال حاضر بیش از ۲۰ نوع محصول زراعی آبی و ۱۰ نوع محصول زراعی دیم کشت می‌شود. حوضه نازلوچای در این استان نیز به‌دلیل شرایط آب و هوایی مناسب، اراضی نسبتاً مساعد و منابع ارزشمند آب‌های سطحی و زیرزمینی از قابلیت بالایی برای کشاورزی و به‌ویژه زراعت برخوردار است (MOE, 2012). امّا متاسفانه کشاورزی در منطقه براساس خصوصیات و توان طبیعی اکوسیستم نیست (Ahmadi Sani et al., 2014) و همواره براساس تجربه کشاورزان و آزمایش و خطا انجام شده است و بین پتانسیل‌های بالقوه و تولیدات بالفعل فاصله قابل توجهی وجود دارد (Nouri et al., 2010).

یکی از راه‌کارهای کاهش این فاصله و جلوگیری از خسارات کمّی و کیفی ناشی‌از آن، ارزیابی توان طبیعی اراضی است که نیازمند ارزیابی دقیق منابع بوم‌شناختی و دخالت دادن جنبه‌های اکولوژیک منابع طبیعی است (Bidadi et al., 2015). ارزیابی صحیح تناسب اراضی برای تصمیم‌گیری مورد نیاز است و می‌تواند در سیاست‌های برنامه‌ریزی کاربری اراضی در راستای توسعه پایدار مشارکت نماید (Chandio et al., 2014; Aymen et al., 2021). آنالیز تناسب اراضی یک فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره براساس سامانه اطلاعات مکانی است (Akinci et al., 2013).

از سوی دیگر، اگرچه برای کار با داده‌های توصیفی و مکان‌دار سامانه‌های مختلفی وجود دارد، امّا سامانه اطلاعات جغرافیایی یکی از بهترین سامانه‌ها می‌باشد که قابلیت کسب، ویرایش، تجزیه و تحلیل و مدیریت هم‌زمان حجم عظیمی از داده‌های مکان‌دار و توصیفی را با سرعت و دقت بالا دارد (Jafari et al., 2009; Sani et al., 2016) و تهیه نقشه تناسب اراضی و آنالیزهای آن یکی از مفیدترین کاربردهای آن می‌باشد (Xu et al., 2012). امّا این سامانه نیز دارای محدودیت‌هایی در اجرای تصمیم‌گیری است. بنابراین، تلفیق آن با روش‌های ارزیابی چندمعیاره پیشنهاد شده است (Chandio et al., 2014). در این میان، تحلیل سلسله مراتبی یکی از عمومی‌ترین تکنیک‌های تصمیم گیری چندمعیاره (Saaty, 2008; Bunruamkaew et al., 2011) و یک روش ارزیابی تناسب اراضی است (Chandio et al., 2014). تحلیل سلسله مراتبی روشی برای طراحی یک مدل سلسله مراتبی برای حل مسائل پیچیده (Roig-Tierno et al., 2013; Bagheri & Asadi, 2019) براساس معیارهای چندگانه کمّی و کیفی (Paul et al., 2020) با وجود اثر متقابل بین معیارها با استفاده از نظرات گروهی در قالب مقایسه‌های زوجی بین معیارها است (Bidadi et al., 2015; Mishra et al., 2015; Mousavi et al., 2017; Tercan & Dereli, 2020). GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با اینکه دو حوزه مطالعاتی متمایز از هم هستند؛ امّا به‌راحتی می‌توانند از مزایا و توانایی‌های یکدیگر بهره‌مند شوند (Li et al., 2012; Asakereh et al., 2017; Paul et al., 2020).

محققان زیادی در زمینه‌های مختلف ازجمله ارزیابی تناسب اراضی برای اکوتوریسم (Bunruamkaew et al., 2011)، آنالیز تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی (Akıncı et al., 2013; Montgomery et al., 2016)، ارزیابی توان جنگل‌ها (Karami & Hosseini Nasr, 2013; Rahimi et al., 2015; Sani et al., 2016)، ارزیابی تناسب اراضی شهری (Aburas et al., 2017)، ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) (Said-Jalali et al., 2016; Mosadeghi et al., 2020)، ارزیابی تناسب اراضی برای تولید تنباکو (*Nicotiana tabacum* L.) (Zhang et al., 2015)، آنالیز تناسب اراضی برای توسعه دام (Qiu et al., 2017)، ارزیابی مکانی مزارع خورشیدی (Yalew et al., 2016)، ارزیابی تناسب اراضی برای کشت‌های آبی (Xu & Zhang, 2013)، تهیه نقشه تناسب اراضی در مناطق روستایی (Romano et al., 2015)، ارزیابی چندمعیاره و مکانی کشت زعفران (*Crocus sativus* L.) (Maleki et al., 2017)، تناسب اراضی برای کشت مرکبات (Tercan & Dereli, 2020)، ارزیابی تناسب برای کاربری‌های دیم و آبی کشاورزی (Aymen et al., 2021) و تعیین مناطق مستعد کشت یونجه (*Medicago sativa* L.) (Bagheri & Asadi, 2019) از معیارهای مختلف اکولوژیکی تأثیرگذار بر تناسب کاربری های مذکور استفاده نمودند و همچنین مزایای تلفیق روش های تصمیم‌گیری چندمعیاره، سامانه اطلاعات مکانی و

سنجش‌ازدور را بیان نمودند که در ادامه، خلاصه برخی از این مطالعات با تأکید بر تناسب اراضی برای کاربری‌های کشاورزی آورده شده است.

آیمن و همکاران (Aymen et al., 2021) تناسب اراضی برای کاربری‌های کشاورزی را در استان معان کشور اردن با کاربرد فن‌آوری‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه، از پنج معیار بارندگی، دما، شیب، نوع خاک و پراکنش منابع آب و روش هم‌پوشانی وزنی استفاده شده است. نتایج نشان داد که سطح ناچیزی (۲/. درصد منطقه) برای کشاورزی تناسب دارد که دلیل اصلی آن را حاصلخیزی کم خاک و کمبود آب ذکر نموده‌اند.

آکینجی و همکاران (Akıncı et al., 2013) تناسب اراضی کشاورزی را در شهر یوسفلی در استان آرتوین ترکیه با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی با هدف تعیین زمین‌های مناسب برای کشاورزی و همچنین یافتن مناطق جایگزین مناسب برای فعالیت‌های کشاورزی آنالیز کردند. آن‌ها، دلیل تناسب کم منطقه برای کشاورزی را عمق کم خاک، شیب و فرسایش زیاد و همچنین سطح زیاد پوشش جنگل و مرتع در منطقه (۸۵ درصد) بیان نمودند.

ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2015) نیز در مطالعه‌ای به ارزیابی تناسب اراضی مبتنی‌بر سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی برای تولید تنباکو در استان شاندونگ چین پرداختند. آن‌ها، معیارهای مختلف اقلیم، نوع خاک و خصوصیات تغذیه‌ای و عوامل توپوگرافیکی را مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که ۲۹ درصد منطقه دارای تناسب بالا و ۱۷/۷ درصد منطقه برای تولید تنباکو نامناسب می‌باشد. همچنین بیان نمودند که تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن عوامل مختلف به‌روش منظم و منطقی، رو شی مؤثر است و این نتایج، تخصیص اراضی و تولید تنباکو را تسهیل می‌کند. محدودکننده‌ترین عوامل را نیز دما و مقدار منیزیم قابل تبادل خاک معرفی کردند.

مالکی و همکاران (Maleki et al., 2017) روی توسعه مدل تناسب اراضی برای کشت زعفران توسط ارزیابی چندمعیاره و آنالیز مکانی در آزادشهر در شمال ایران کار کردند. آن‌ها، از معیارهای اقلیم، خاک و توپوگرافی استفاده کردند. نتایج نشان داد که خاک و اقلیم نقش اصلی دارند و محدودیت‌های اصلی شامل بارندگی زیاد در مرحله زادآوری، شیب زیاد، رطوبت نسبی زیاد، بارندگی سالانه کم، ارتفاع زیاد و بافت خاک نامناسب می‌باشد. در پایان اشاره کردند که نتایج برای تصمیم‌گیران و کشاورزان جهت برنامه‌ریزی کشت زعفران بسیار مفید خواهد بود.

سیدجلالی و همکاران (Said-Jalali et al., 2016) ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم آبی را با روش فازی شبیه سازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در شهرستان گتوند استان خوزستان مورد ارزیابی قرار دادند. هدف اصلی را تعیین اثر کمّی خصوصیات اراضی بر عملکرد تولید گندم آبی بیان نمودند. آن‌ها در مطالعه خود از خصوصیات اقلیم، توپوگرافی، زهکشی، سیل‌گیری، بافت خاک، سنگ‌ریزه، عمق و خصوصیات گچ، آهک و شوری یا قلیائیت استفاده کردند.

مصدقی و همکاران (Mosadeghi et al., 2020) پهنه‌بندی آگرواکولوژیکی نظام‌های تولید گندم آبی در دشت شاوور خوزستان را با کاربرد فن‌آوری‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه از معیارهای اقلیم، خاک و توپوگرافی استفاده شده است. محدودیت‌های منطقه در راستای هدف مطالعه شامل حاصلخیزی ضعیف خاک، کمبود ماده آلی، پایین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی و شور و سدیمی بودن اراضی می‌باشد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌های لندست و IRS استفاده شده است.

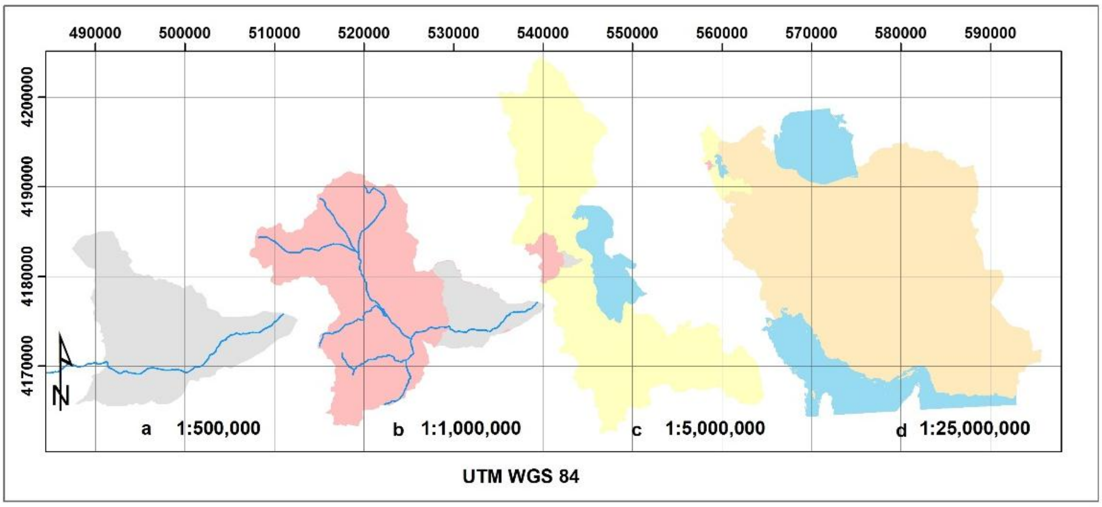
لذا بنا به اهمیت کشاورزی و به‌ویژه زراعت آبی در استان و حوضه آبخیز نازلوچای، عدم توجه کافی به پتانسیل طبیعی اراضی در کشاورزی منطقه، جلوگیری از خسارات ناشی‌از استفاده نادرست از اراضی، اهمیت ارزیابی تناسب اراضی برای تصمیم‌گیری بهینه در برنامه‌ریزی کاربری اراضی و توجه به این موضوع که آنالیز تناسب اراضی یک فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره براساس سامانه اطلاعات مکانی است، ضرورت دارد که تناسب اراضی بخشی از حوضه آبخیز نازلوچای ازنظر اکولوژیک و براساس اصول آمایش سرزمین مورد ارزیابی قرار گیرد تا از طریق شناسایی و درجه‌بندی توان بالقوه منطقه با روش ارزیابی چندمعیاره و استفاده از تکنیک‌های تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی گام مهمی برای دستیابی به توسعه پایدار در منطقه برداشته شود. بنابراین، از اهداف اصلی تحقیق می‌توان به تعیین توان منطقه برای زراعت آبی از نظر پارامترهای اکولوژیک، تعیین اولویت بخش‌های مختلف منطقه برای کاربری زراعت آبی، مقایسه کاربری‌های فعلی و توان طبیعی منطقه، ارزیابی

کارآیی فن‌آوری‌های مورد استفاده و فراهم‌کردن یک سیستم تصمیم‌گیری مکانی براساس ارزیابی چندمعیاره و سامانه اطلاعات مکانی اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، زیرحوضه شماره ۲۸ حوضه رودخانه نازلوچای با وسعت حدود ۲۳۳۱۴ هکتار می‌باشد که در شرق دریاچه ارومیه و جنوب شرقی حوضه واقع شده است (شکل ۱). آب‌وهوای منطقه کوهستانی نیمه‌معتدل با زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم است. میانگین بارندگی سالیانه حوضه حدود ۴۰۰ میلی‌متر در سال است. ماکزیمم و مینیمم دمای سالیانه منطقه نیز به‌ترتیب حدود ۳۸ و ۳- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شغل اصلی مردم منطقه کشاورزی به‌ویژه زراعت دیم و آبی و دامداری است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (a) و موقعیت آن در حوضه نازلوچای (b)، استان (c) و ایران (d)

Fig. 1- The study area (a), and its position in Nazluchai basin (b), Province (c) and Iran (d)

روش تحقیق

در این مطالعه، جهت ارزیابی تناسب اکولوژیک اراضی برای کشت‌های زراعی آبی از تلفیق سامانه اطلاعات مکانی، تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب خطی-وزنی استفاده شد. در این روش، فرایند ارزیابی شامل سه مرحله شناسایی منابع، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و ارزیابی توان است.

شناسایی منابع اکولوژیک

معیارهای اکولوژیک مؤثر بر زراعت آبی شامل شکل زمین (شیب، جهت و ارتفاع)، خاک (بافت، حاصلخیزی، اسیدیته، عمق، زهکشی، فرسایش، شوری، درصد آهک و کربن آلی)، اقلیم (بارندگی، دما و رطوبت نسبی) و منابع آب (دبی آب) و دامنه طبقات آن‌ها توسط مرور منابع و نظر کارشناسان (۲۰ نفر) در قالب تحلیل سلسله مراتبی شناسایی شدند (FAO, 1985; MoE, 2012; Akıncı et al., 2013; Zolekar & Bhagat, 2015; Sani et al., 2016; Aburas et al., 2017; Tercan & Dereli, 2020).

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

جمع‌بندی و تجزیه و حلیل داده‌ها شامل تهیه نقشه زیرمعیارهای مختلف، استانداردسازی آن‌ها، تعیین وزن زیرمعیارها، تهیه نقشه واحدهای همگن و ارزیابی تناسب اکولوژیک می‌باشد. مرحله تعیین وزن زیرمعیارها در محیط نرم‌افزار Expert Choice 11 و سایر مراحل در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 انجام شد.

تهیه نقشه زیرمعیارهای شکل زمین

برای تهیه نقشه زیرمعیارهای شکل زمین، وجود مدل رقومی ارتفاع الزامی است که با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰و خطوط تراز ۲۰ متری (تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور) تولید شد. سپس نقشه‌های شیب، جهت و نقشه

ارتفاع (با کاربرد تابع Spatial Analyst) از آن استخراج و نقشه طبقات زیرمعیارها (با استفاده از تابع Reclassify) تهیه گردید.

تهیه نقشه زیرمعیارهای خاک

برای تهیه نقشه پارامترهای خاک از نقشه خاک تهیه شده توسط مؤسسه تحقیقات کشاورزی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. برای این کار، ابتدا نقشه کاغذی خاک منطقه، اسکن، مختصات‌دار و رقومی گردید. سپس برای تهیه نقشه هرکدام از زیرمعیار خاک در محیط GIS، اطلاعات پارامترهای خاک شامل بافت، حاصلخیزی، اسیدیته، عمق، زهکشی، فرسایش، شوری، درصد آهک و کربن آلی حاصل از گزارش ضمیمه نقشه، برای هر واحد خاک و به صورت مجزا برای هر معیار، به جدول اطلاعات توصیفی لایه مربوطه وارد گردید و به‌این‌ترتیب، نقشه زیرمعیارهای خاک تهیه شد.

تهیه نقشه‌های زیرمعیارهای اقلیم و منابع آب

برای تهیه نقشه‌های میزان دما و بارندگی متوسط سالانه از نقشه‌های هم‌دما و هم‌باران موجود استفاده گردید. جهت تهیه نقشه دبی آب، نقشه نقطه‌ای چاه‌ها و چشمه‌های منطقه در محیط GIS بر روی نقشه پارامترهای خاک قرار داده شد. سپس، مجموع دبی آب چاه‌ها و نقاط خروجی رودخانه نازلوچای (۲۲۴۸ حلقه) و چشمه‌های (۲۴ رشته) قرارگرفته در هر واحد محاسبه و پس از تبدیل به لیتر در هکتار در سال به‌عنوان میزان دبی آب آن واحد در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که اطلاعات دبی آب چاه‌ها و چشمه‌های منطقه از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی دریافت گردید.

استانداردسازی نقشه طبقات زیرمعیارها

با توجه به تنوع پارامترها از نظر کمّی و کیفی بودن لازم است که طبقات نقشه‌ها استانداردسازی شوند. طبقات نقشه هر زیرمعیار مانند تحقیقات مشابه (Bunruamkaew et al., 2011; Akıncı et al., 2013; Karami & Hosseini Nasr, 2013; Zolekar & Bhagat, 2015; Sani et al., 2016; Aburas et al., 2017) براساس قضاوت کارشناسان زراعی (۲۰ نفر) و با روش دوقطبی فاصله‌ای، استانداردسازی گردید. این روش براساس یک مقیاس ۱۰ نقطه‌ای می‌باشد که صفر، مینیمم ارزش و ۱۰، ماکزیمم ارزش را نشان می‌دهد (Asgharpour, 2019). کارشناسان برای هر طبقه در هر نقشه زیرمعیار، ارزشی بین صفر تا ۱۰ (معمولاً ۱، ۳، ۵، ۷، ۹) را درنظر می‌گیرند که بیان‌گر اهمیت نسبی آن طبقه نسبت‌به سایر طبقات همان نقشه است.

تعیین وزن معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار

وزن معیارها و زیرمعیارها براساس قضاوت‌های زوجی کارشناسان زراعی بخش اجرا و دانشگاه در قالب روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و در محیط نرم‌افزار Expert Choice تعیین شد. بنابراین، ساختار سلسله مراتبی در نرم‌افزار مربوطه تشکیل شد که در آن زراعت آبی به‌عنوان هدف اصلی و در سطح اول فاکتورهای شکل زمین، اقلیم، خاک و منابع آب به‌عنوان معیارهای اصلی قرار داده شدند. در سطح دوم نیز زیرمعیارهای شکل زمین (شیب، جهت و ارتفاع)، اقلیم (دما، بارندگی و رطوبت نسبی متوسط سالانه)، خاک (بافت خاک، اسیدیته، حاصلخیزی، آهک، فرسایش خاک، عمق خاک، زهکشی و کربن آلی) و منابع آب (دبی آب) قرار گرفتند. سپس نظرات متخصصان حاصل‌از پرسش‌نامه‌ها به جداول مربوطه در تحلیل سلسله مراتبی وارد شد و وزن هر معیار به‌دست آمد. برای بررسی سازگاری قضاوت‌های زوجی، ضریب ناسازگاری محاسبه شد. میزان قابل قبول ناسازگاری یک ماتریس کمتر از ۰/۱ می باشد (Xu & Zhang, 2013; Ghodsipour, 2016).

تهیه نقشه محدودیت‌ها

عوامل محدودکننده اصلی مانند تحقیقات مشابه (Aymen et al., 2021) انتخاب و در تجزیه‌و تحلیل‌ها دخالت داده شدند. در این مطالعه، نقشه محدودیت با اعمال عوامل محدودکننده درصد شیب و دبی آب براساس منطق بولین (۰ و ۱) تهیه گردید. نقشه شیب به دو طبقه شیب بالای هشت درصد و نامناسب برای زراعت آبی (ارزش صفر) و شیب پایین‌تر از هشت درصد و مناسب برای زراعت آبی (ارزش یک) تقسیم شد. دبی آب بالای ۳۰۰۰ لیتر در هکتار در سال برای زراعت آبی مناسب (ارزش یک) و دبی کمتر از ۳۰۰۰ لیتر در هکتار در سال برای زراعت آبی نامناسب (ارزش صفر) در نظر گرفته شد (Makhdoum et al., 2012) و با روی‌هم‌گذاری آن‌ها، نقشه محدودیت با دو طبقه مناسب (ارزش ۱) و نامناسب (ارزش ۰) تهیه شد که براساس آن حدود ۴۷ درصد منطقه برای زراعت آبی نامناسب می‌باشد.

تهیه نقشه واحدهای همگن

پس از تهیه نقشـــه اســتاندارد پارامترهای تأثیرگذار بر زراعت آبی شامل شکل زمین (شیب، جهت و ارتفاع)، خاک (بافت، حاصلخیزی، اسیدیته، عمق، زهکشی، فرسایش، شوری، درصد آهک و کربن آلی) و منابع آب (دبی آب)، اهمیت نســبی طبقات و وزن زیرمعیارها در محیط GIS به جدول اطلاعات توصیفی هرکدام از نقشه‌های زیرمعیار وارد گردید. ســپس با روی‌هم‌گذاری نقشــه زیرمعیارها توســط تابع Union در محیط GIS، نقشـــه واحدهای همگن ازنظر زیرمعیارهای مورد مطالعه، تهیه شد.

تهیه نقشه تناسب اکولوژیک

به‌منظور ارزیابی چندمعیاره با روش ترکیب خطی-وزنی، وزن نهایی هر زیرمعیار در لایه استاندارد شده مربوطه، ضرب و نقشه‌های استاندارد شده وزنی به‌دست آمد. با ضرب نقشه حاصله در نقشه محدودیت، مناطق نامناسب برای کشت‌های زراعی آبی حذف گردید و با اعمال روش خطی-وزنی روی بقیه منطقه، نقشــه پیوســته تناســب اکولوژیک تهیه شد. سپس، این نقشه، براساس مرور منابع و با توجه به دامنه ارزش‌های حاصل‌از اعمال روش خطی-وزنی، به‌صورت نقشه درجات تناسب و در سه طبقه با تناسب زیاد، متوسط و کم علاوه‌بر مناطق نامناسـب، کلاسـه‌بندی شـد (Zolekar & Bhagat, 2015). لازم به‌ذکر اســـت که مرحله کلاســـه‌بندی چندین بار تکرار گردید و نقشه حاصله هر بار با حد محدودکننده زیرمعیارها به‌ویژه شیب و دبی آب برای زراعت آبی مورد کنترل و بازبینی قرار گرفت تا حد آســـتانه مطلوب دامنه ارزش طبقات تعیین گردید.

مقایسه تناسب اکولوژیک و کاربری فعلی

نقشــــه تناســـب اکولوژیک که گویای میزان مطلوبیت بخش‌های مختلف منطقه برای کاربری زراعت آبی می‌باشد با نقشه کاربری فعلی حاصل‌از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده در قالب طرح مطالعاتی ارزیابی منابع حوضـــه آبخیز نازلوچای (FRW, 2006)، تلاقی داده شـــده و مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نقشه زیرمعیارهای شکل زمین

با توجه به نقشه‌های طبقات شیب، جهت و ارتفاع می‌توان اظهار داشت که حدود ۶۰ درصد سطح منطقه شیب زیر هشت درصد دارد و برای زراعت آبی مناسـب می‌باشـد. از نظر جهت جغرافیایی، منطقه در همه جهات پراکنش نسـبتاً یکنواختی دارد و حدود پنج درصـد منطقه نیز مســـطح می‌باشـــد. از لحاظ ارتفاعی نیز بیشـــتر منطقه در طبقه ارتفاعی ۱۸۰۰-۱۲۰۰ متر قرار دارد (شکل ۳).

زیرمعیارهای اقلیم

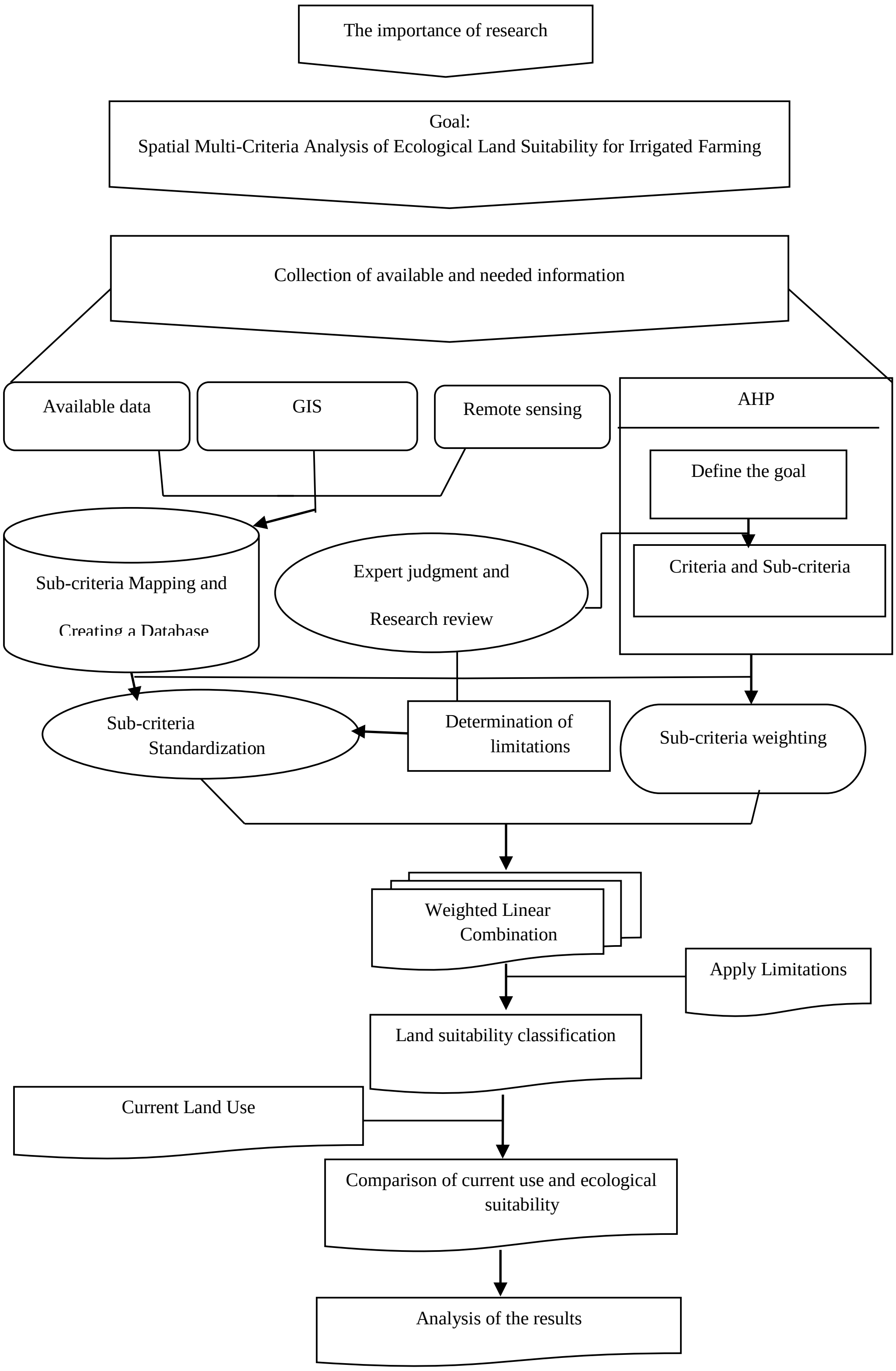
طبق نقشه هم‌باران و هم‌دمای زیرحوضه، متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای ســالانه ۱۸ درجه ســـانتی‌گراد اســـت. بنابراین، کل منطقه در یک طبقه بارش و دما برای کاربری زراعت آبی قرار گرفت. میزان رطوبت نســبی نیز در مقیاس کوچک تغییر نمی‌کند که متوســـط رطوبت ایســـتگاه‌های مجاور این مطلب را تأیید می کند. لذا این ســـه زیرمعیار در تجزیه و تحلیل‌های نهایی دخالت داده نشدند.

زیرمعیار دبی آب

با توجه به نقشه زیرمعیار دبی آب (شکل ۴)، بیشتر سطح منطقه (۸۰٪) دارای دبی آب بیش‌از ۳۰۰۰ لیتر در هکتار در سال می‌باشد که بنا به مرور منابع (Makhdoum et al., 2012) بسـته‌به میزان آب تا بیش‌از ۱۰۰۰۰ لیتر در هکتار در ســـال برای کاربری‌های فاریاب با درجه تناسب ۳-۱ می‌تواند مناسب باشد.

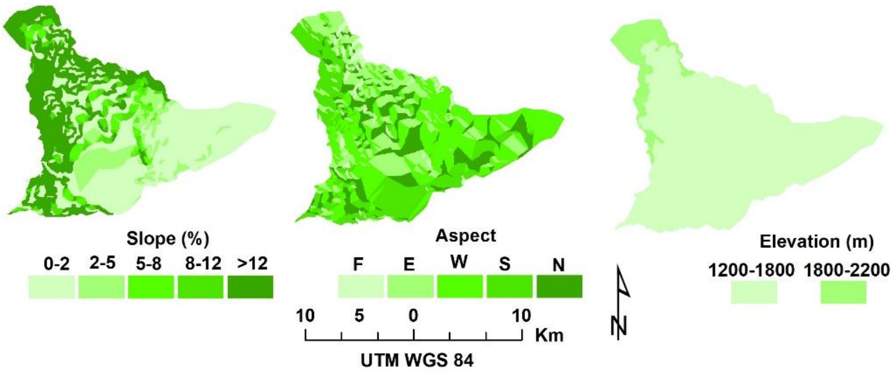
زیرمعیارهای خاک

به‌عنوان مثال، نقشه شش زیرمعیار خاک و طبقات آن‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به این نقشه‌ها، حدود ۷۵ درصد سطح منطقه دارای بافت لومی است. حدود ۵۰٪ منطقه دارای حاصلخیزی با درجه خوب (طبق نقشه مطالعات تفصیلی خاک) می‌باشد. ۷۷ درصد سـطح منطقه در طبقه اسـیدیته ۸/۸-۸/۲ قرار دارد. حدود ۸۶ درصـد سطح منطقه دارای خاک عمیق و خیلی عمیق است. ۷۵ درصد منطقه در طبقه زهکشی متوسط قرار دارد. از نظر فرسایش تقریباً کل منطقه در دو طبقه فرسـایش کم و متوسـط قرار گرفته اسـت. از نظر درصـد آهک و درصد کربن آلی نیز بیشتر سطح منطقه در دو طبقه متوسط (۲۵-۱۵ درصد آهک و ۲-۱ درصد کربن آلی) و زیاد (۴۰-۲۵ درصد آهک و ۴-۲ درصد کربن آلی) قرار دارد.



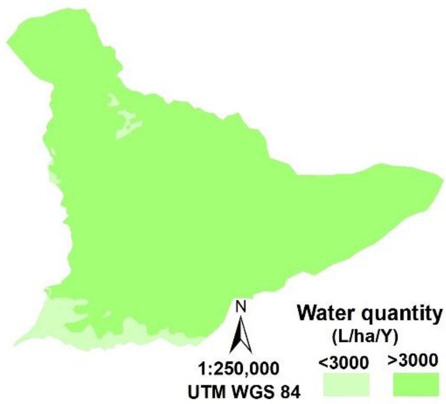
شکل ۲- فلوچارت تحلیل چندمعیاره مکانی تناسب اکولوژیک اراضی حوضه نازلوچای برای کاربری زراعت آبی

Fig. 6- Flowchart of spatial multi-criteria analysis to ecological land suitability for irrigated farming in Nazlouchai basin



شکل ۳- زیرمعیارهای شکل زمین در منطقه مورد مطالعه

Fig. 3- Landform sub-criteria in the study area



شکل ٤- زیرمعیار دبی آب در منطقه مورد مطالعه

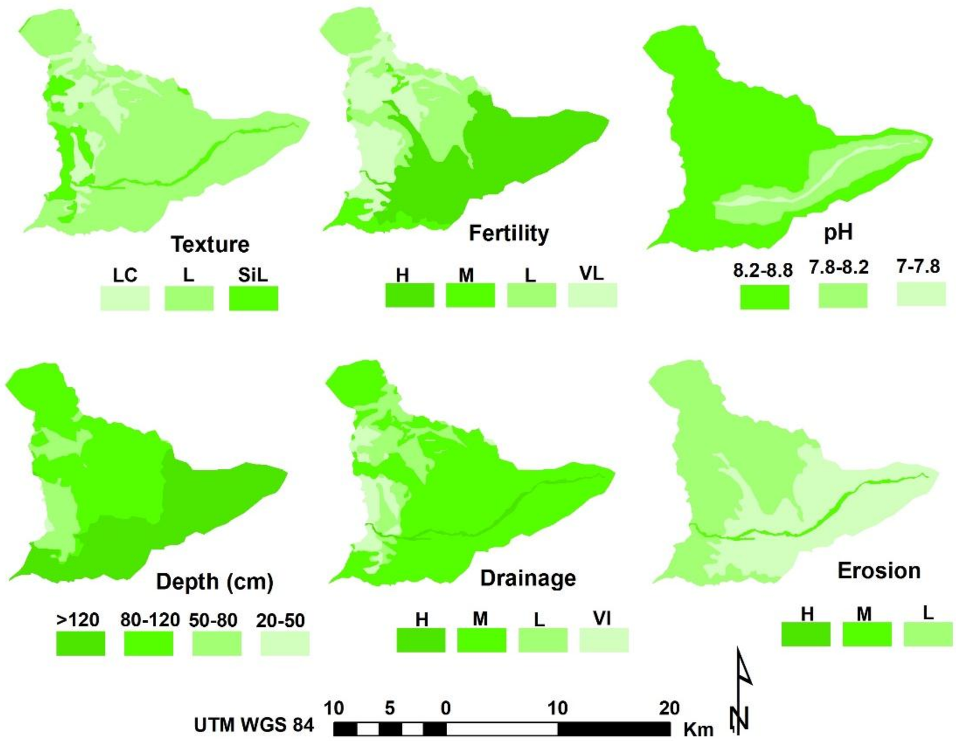
Fig. 4- Water quantity sub-criteria in the study area

وزن معیارها و زیرمعیارها

ماتریس معیارهای اصلی شامل شکل زمین، اقلیم، خاک و منابع آب می‌باشد که منابع آب بالاترین وزن را برای زراعت آبی به خود اختصاص داده است و اقلیم و خاک در رتبه بعدی قرار دارند. در ماتریس زیرمعیارهای شکل زمین شامل شیب، جهت و ارتفاع، زیرمعیار شیب اهمیت بیشتری برای کشت‌های زراعی آبی کسب کرده است. زیرمعیارهای اقلیم شامل بارندگی، دما و رطوبت نسبی هستند که دما با اختلاف زیادی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. در ماتریس زیرمعیارهای خاک به‌ترتیب بافت و حاصلخیزی وزن بیشتری برای زراعت آبی دارند. وزن نهایی زیرمعیارها در شکل ۶ نشان آورده شده است. نتایج نشان داد که دبی آب با وزن ۰/۲۹۰، بیشترین تأثیر را در تعیین تناسب برای کاربری زراعت آبی دارد. زیرمعیارهای دما، بافت و حاصلخیزی در مراتب بعدی درجه اهمیت قرار دارند. نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱، قابل قبول و نشان‌دهنده قضاوت درست بین معیارها توسط کارشناسان است (Xu & Zhang, 2013; Aburas et al., 2017) که در این مطالعه نیز میزان ناسازگاری قضاوت‌ها برابر ۰/۰۱ در دامنه قابل قبول قرار گرفته است.

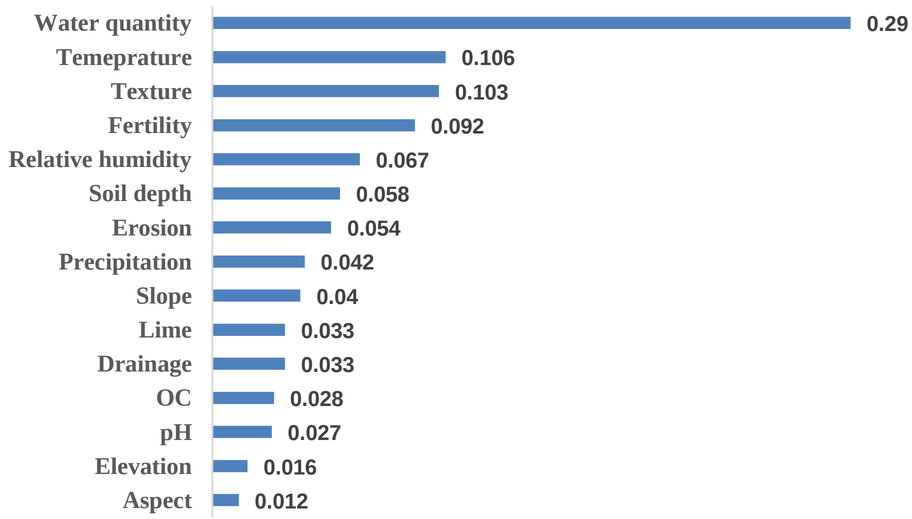
نقشه واحدهای همگن اکولوژیک

نقشه نهایی واحدهای همگن اکولوژیک حاصل از روی‌هم‌گذاری نقشه همه زیرمعیارها شامل ۱۸۲۹ واحد بود که سطح بزرگ‌ترین واحد برابر ۴۶۶ هکتار و کوچک‌ترین واحد برابر ۱۰ هکتار می‌باشد.



شکل ۵- زیرمعیارهای خاک در منطقه مورد مطالعه

Fig. 5- Soil sub-criteria in the study area



شکل ٦- وزن زیرمعیارهای مختلف حاصل‌از AHP برای زراعت آبی در منطقه مورد مطالعه

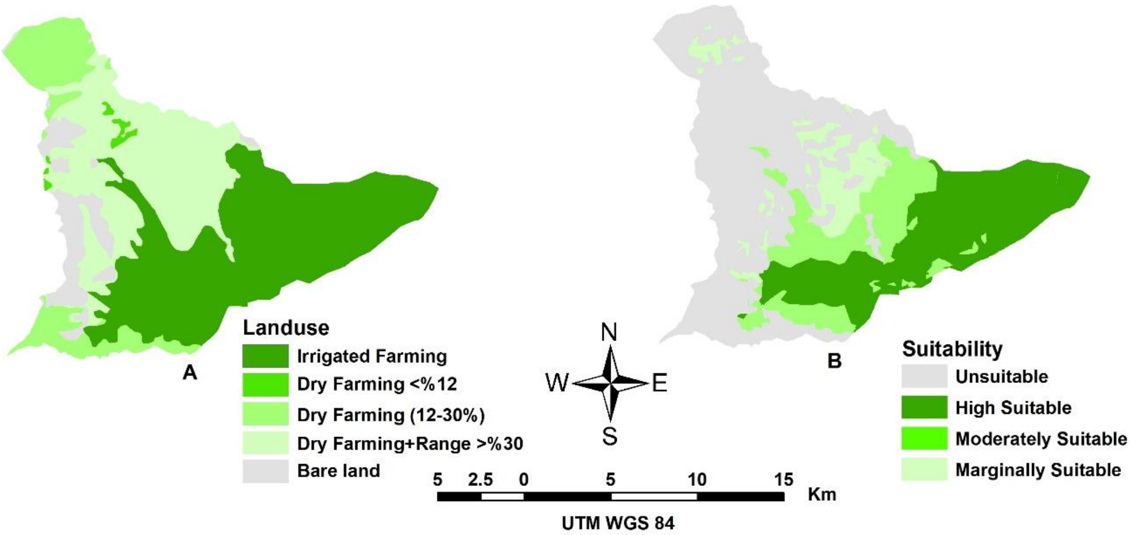
Fig. 6- Weight of different sub-criteria resulted from AHP for irrigated farming in the study area

نقشه کاربری فعلی و توان اکولوژیک اراضی

در نقشه کاربری فعلی، ۱۰۷۹۲ هکتار (۴۶/۴ درصد منطقه) به کشت‌های آبی زراعی-باغی، ۷۴۸۳ هکتار (۳۲/۲ درصد) به کاربری مرتع-دیم در شیب بالای ۳۰ در صد، ۲۹۴۷ هکتار (۱۲/۶ در صد) به دیم‌کاری در شیب ۳۰-۱۲ درصد و ۱۷۹ هکتار (۰/۸ درصد) به دیم‌کاری در شیب کمتر از ۱۲ درصد اختصاص داده شده است. ۱۸۶۷

هکتار (۸ درصد) از منطقه نیز مناطق سنگی و خاک لخت است (شکل ۷ a).

در نقشه توان اکولوژیک، ۴۷ درصد از سطح منطقه معادل ۱۱۰۲۷ هکتار، تحت تأثیر محدودیت‌های شیب بالای هشت درصد و دبی آب کمتر از ۳۰۰۰ لیتر در هکتار در سال، فاقد تناسب برای کشت‌های زراعی آبی است. ۲۸/۲ در صد سطح منطقه با مساحت ۶۵۷۳ هکتار دارای تناسب زیاد است که بیش‌از ۹۶ در صد سطح این طبقه مربوط به مناطق با شیب ۲-۰ درصد، بافت لومی و لومی-سیلتی، حاصلخیزی خوب و دبی آب بیش از ۱۰۰۰۰ لیتر در هکتار در سال می‌باشد. ۱۶/۴ درصد سطح منطقه معادل ۳۸۱۵ هکتار درجه تناسب متوسط دارد که عمدتاً در مناطق با شیب ۵-۰ درصد، بافت لومی و لومی-سیلتی، حاصلخیزی خوب و دبی آب بیش از ۱۰۰۰۰ لیتر در هکتار در سال واقع شده است. ۸/۱ در صد از سطح منطقه معادل ۱۸۹۷ هکتار نیز دارای درجه تناسب کم برای زراعت آبی می‌باشد که بیشتر مناطق با شیب ۸-۲ درصد، بافت لومی-سیلتی و رسی-لومی، حاصلخیزی متوسط و کم و دبی آب بیش‌از ۱۰۰۰۰ لیتر در هکتار در سال را به خود اختصاص داده است (شکل ۷ b).



شکل ۷- کاربری فعلی (A) و تناسب اکولوژیک (B) در منطقه مورد مطالعه
Fig. 7- Current land-use and ecological suitability in the study area

مقایسه تناسب اکولوژیک و کاربری فعلی

مقایسه نقشه‌های تناسب اکولوژیک و کاربری فعلی منطقه مورد مطالعه نشان داد که از ۱۱۰۲۷ هکتار فاقد تناسب برای زراعت آبی در نقشه تناسب اکولوژیک، در نقشه کاربری فعلی حدود ۵۶۹۴ هکتار معادل ۲۴/۵ درصد به کاربری دیم-مرتع، ۵۴۵ هکتار (۲/۳ درصد) به کشت‌های آبی زراعی-باغی، ۲۲۱ هکتار (یک درصد) به کاربری دیم در اراضی با شیب کمتر از ۱۲٪ و ۲۶۹۹ هکتار (۱۱/۵ درصد) به دیم‌کاری در شیب ۳۰-۱۲٪ اختصاص داده شده است و ۱۸۶۸ هکتار (هشت درصد) نیز مناطق سنگی و خاک لخت است. بنابراین، در این کلاسه در سطح ناچیزی عدم تطابق دیده می‌شود.

حدود ۲۸/۲ درصد از منطقه (۶۵۷۳ هکتار) در نقشه تناسب اکولوژیک دارای تناسب زیاد برای زراعت آبی است که در نقشه کاربری فعلی نیز به کشت‌های آبی زراعی-باغی اختصاص یافته است. حدود ۱۶/۴ درصد (۳۸۱۵ هکتار) نیز در نقشه تناسب اکولوژیک دارای توان متوسط برای زراعت آبی است که در نقشه کاربری فعلی، ۱۴۰ هکتار (۰/۶ درصد) آن به کاربری دیم-مرتع و ۳۶۷۵ هکتار (۱۵/۸ درصد) نیز به کشت‌های آبی زراعی-باغی اختصاص داده شده است. بنابراین، نتایج نشان از تطابق نسبتاً کامل تناسب اکولوژیک با استفاده‌های فعلی در این دو کلاسه است.

حدود هشت درصد منطقه (۱۸۹۷ هکتار) در نقشه تناسب اکولوژیک دارای توان ضعیف برای زراعت آبی است که در نقشه کاربری فعلی ۱۶۴۸ هکتار معادل (۷ درصد) آن به دیم-مرتع و ۲۴۹ هکتار (یک درصد) به دیم‌کاری در شیب ۳۰-۱۲ درصد اختصاص یافته است.

نتایج تأکید می‌کند که تلفیق تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی یک تکنیک مفید برای تهیه نقشه‌های تناسب در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی است (Mishra et al., 2015; Aburas et al., 2017). آنالیز تناسب اراضی براساس این تکنیک، مدیریت منابع را تسهیل و کارآمدتر می‌کند که در تحقیق ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2015) نیز بر این موضوع تأکید شده است.

در مورد کاربرد سنجش‌ازدور در مطالعات تناسب اراضی نیز نتایج نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بویژه برای استخراج نقشه کاربری فعلی اراضی جهت آنالیز و ارزیابی تناسب اراضی چندمعیاره برای کاربری های مختلف اهمیت زیادی دارد (Mishra et al., 2015; Yalew et al., 2016; Aymen et al., 2021). تلفیق سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات مکانی نیز می‌تواند نقش مهمی در تسهیل شناسایی مناطق مناسب برای توسعه کشاورزی بازی کند (Chandio et al., 2014; Aymen et al., 2021; Mosadeghi et al., 2020).

در ارتباط با تلفیق تحلیل سلسله مراتبی و همپوشانی خطی-وزنی، مانند تحقیقات مشابه (Mishra et al., 2015; Sani et al., 2016; Bagheri & Asadi, 2019)، تلفیق اثربخش، کارآیی و به‌کارگیری آن‌ها در ساختار سلسله مراتبی چندسطحی روی محدودیت‌ها و معیارهای مختلف در زمینه آنالیز تناسب اراضی برای کشت‌های زراعی آبی نشان داده شد.

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه و بسیاری از تحقیقات مشابه، نشان می‌دهد که تلفیق فن‌آوری‌ها و روش‌های سنجش‌ازدور، سامانه اطلاعات مکانی، تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب-خطی وزنی، ابزار مفید و مؤثری برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌سازی در فرایند آمایش سرزمین و ارزیابی چندمعیاره تناسب اراضی برای کاربری‌های کشاورزی است (Romano et al., 2015; Zolekar & Bhagat, 2015; Montgomery et al., 2016; Sani et al., 2016; Yalew et al., 2016).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که در نقشه تناسب و کاربری فعلی ۱۱ درصد عدم تطابق وجود دارد و در ۸۹ درصد منطقه کاربری های فعلی با توان طبیعی منطقه سازگاری دارد. مهم‌ترین معیارها برای ارزیابی تناسب کشت‌های زراعی آبی از دید کارشناسان، دبی آب، دما، بافت و حاصلخیزی خاک می‌باشند. جهت اجرای پروژه‌های توسعه در این حوضه، منابع آب یکی از منابع با اهمیت و محدود است و سایر منابع اکولوژیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارزیابی تناسب اراضی بخش مهمی از اطلاعات برای توسعه کشاورزی و برنامه‌ریزی آینده است. چنانچه سرزمین بالقوه فاقد تناسب اکولوژیک برای اجرای یک کاربری باشد، حتی در صورت نیاز اقتصادی – اجتماعی به وجود آن کاربری، اجرای آن طرح موجب تخریب بیشتر محیط می‌شود. این مطالعه یک راهنمای منطقه‌ای مهم و مفید در مورد برنامه‌ریزی اراضی کشاورزی و مدیریت کشت‌های زراعی آبی می‌باشد. تعیین توان اراضی به‌منظور جلوگیری از تخریب، استفاده بهینه از سرزمین و برنامه‌ریزی کاربری‌ها براساس اصول آمایش سرزمین با این‌چنین تکنیک‌ها و فن‌آوری‌های نوین و تلفیقی می‌توانند راه‌حلی اصولی برای سازمان های ذی‌ربط جهت رفع بحران‌های زیست محیطی و ایجاد بستر لازم برای دستیابی به توسعه پایدار باشد.

References

Aburas, M.M., Abdullah, S.H., Ramli, M.F., and Asha'ari, Z.H., 2017. Land suitability analysis of urban growth in Seremban Malaysia, using GIS based analytical hierarchy process. Procedia Engineering 198: 1128-1136.

Ahmadi Sani, N., Balighi, S., Javanmard, A., and Sohrabi, M., 2014. Study and comparison of ecological potential and current uses in lands located in South of Urmia based on land-use planning principles. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24(1): 127-137. (In Persian with English Summary)

Akıncı, H., Özalp, A. Y., and Turgut, B., 2013. Agricultural land-use suitability analysis using GIS and AHP technique. Computers and Electronics in Agriculture 97: 71-82.

Asakereh, A., Soleymani, M., and Sheikhdavoodi, M.J., 2017. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. Solar Energy 155: 342-353.

Asgharpour, M.J., 2019. Multiple criteria decision making. University of Tehran Press, Tehran, Iran, 398 p. (In Persian)

Aymen, A.T., Al-husban, Y., and Farhan, I., 2021. Land suitability evaluation for agricultural use using GIS and remote

sensing techniques: The case study of Ma'an Governorate, Jordan. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science 24(1): 109-117.

Bagheri, A., and Asadi, S., 2019. Determination of suitable areas to cultivating annual alfalfa (*Medicago scutellatu* L.) using the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) in the province of Kermanshah. Journal of Agroecology 11(2): 467-482. (In Persian with English Summary)

Bayat, B., Matkan, A.A., Rahmani, B., and Arabi, B., 2011. Comprehensive programming on land-use planning in urban basin using GIS. Environmental Based Territorial Planning (Amayesh) 4(13): 119-135. (In Persian with English Summary)

Bidadi, M., Kamkar, B., Abdi, O., and Kazemi, H., 2015. Land suitability analysis on rainfed Wheat cropping using Geospatial Information Systems (A case study: Qaresoo basin). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25(1): 131-143. (In Persian with English Summary)

Bunruamkaew, K., and Murayama, Y., 2011. Site suitability evaluation for ecotourism using GIS & AHP: A case study of Surat Thani province, Thailand. Procedia-Social and Behavioral Sciences 21(1): 269-278.

Chandio, I.A., Matori, A.N., Yusof, K., Talpur, M.H., and Aminu, M., 2014. GIS-based land suitability analysis of sustainable hillside development. Procedia Engineering 77: 87-94.

FAO (Food and Agriculture Organization), 1985. Guidelines: Land Evaluation for Irrigated Agriculture, FAO Soils Bulletin 55. Rome, 290 p.

FRW (Organization of Forests, Ranges and Watershed Management of Iran), 2006. Nazlochai watershed resource evaluation plan, FRW Report. Tehran, 294 p.

Ghodsipour, H., 2016. Analytical Hierarchy Process, Amirkabir University of Technology Press, Tehran, 220 p. (In Persian)

Jafari, M., Tahmoures, M., and Naghilou, M., 2009. Land-use planning for tourism development using Geographical Information System (GIS) . Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources) 62(1): 21-31. (In Persian with English Summary)

Karami, O., and Hosseini Nasr, S.M., 2013. Application of analytical hierarchy process and geographic information system in capability evaluation of babolrood basin lands for range management. Iranian Journal of Range and Desert Research 20(1): 101-114. (In Persian with English Summary)

Li, B., Zhang, F., Zhang, L.W., Huang, J.F., Jin, Z.F., and Gupta, D.K., 2012. Comprehensive suitability evaluation of tea crops using GIS and a modified land ecological suitability evaluation model. Pedosphere 22(1): 122-130.

Makhdoum, M.F., Darvishsefat, A.A., Jafarzadeh, H., and Makhdoum, A.F., 2012. Environmental evaluation and planning by Geographic Information System. University of Tehran Press, Tehran, 304 p. (In Persian)

Maleki, F., Kazemi, H., Siahmarguee, A., and Kamkar, B., 2017. Development of a land-use suitability model for saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation by multi-criteria evaluation and spatial analysis. Ecological Engineering 106: 140-153.

Mishra, A.K., Deep, S., and Choudhary, A., 2015. Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science 18(2): 181-193.

MoE (Ministry of Energy), 2012. Guideline for Ecological Capability Evaluation for Classification of Water Resources Development Projects. Bulletin No. 575. Tehran. (In Persian)

Montgomery, B., Dragićević, S., Dujmović, J., and Schmidt, M., 2016. A GIS-based Logic Scoring of Preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 124: 340-353.

Mosadeghi, A., Akbari, N., Bakhshandeh, A., Sarmadian, F., Nasiri, B., and Sofizadeh, S., 2020. Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems using RS and GIS in the Shavoor plain of Khouzestan. Journal of Agroecology 11(4): 1527-1543.

Mousavi, S.A., Sarmadian, F., and Taati, A., 2017. Comparison of AHP and FAO methods for land suitability evaluation of rainfed wheat in Kuhin area. Iranian Journal of Soil Research 30(4): 367-377. (In Persian with English Summary)

Nefeslioglu, H.A., Sezer, E.A., Gokceoglu, C., and Ayas, Z., 2013. A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments. Computers and Geosciences 59: 1-8.

Nouri, S.H.A., Seydaei, S.E., Kiani, S., Soltani, Z., and Nouruozi Avargani, A., 2010. Assessment of ecologic environmental sources for determining rich farmland by GIS. Geography and Environmental Planning 21(1): 33-46. (In Persian with English Summary)

Paul, M., Negahban-Azar, M., Shirmohammadi, A., and Montas, H., 2020. Assessment of agricultural land suitability for

irrigation with reclaimed water using geospatial multi-criteria decision analysis. Agricultural Water Management 231: 105987.
Pourkhabbaz, H., Aghdar, H., Mohammadyari, F., and Javanmardi, S., 2015. Land suitability evaluation for determining of agricultural land-use by Multi Criteria Decision Making models ANP- DEMATEL and FAHP Chang (Case study: Behbahan fringe). Journal of Environmental Studies 41(2): 429-445. (In Persian with English Summary)
Qiu, L., Zhu, J., Pan, Y., Hu, W., and Amable, G.S., 2017. Multi-criteria land-use suitability analysis for livestock development planning in Hangzhou metropolitan area, China. Journal of Cleaner Production 161: 1011-1019.
Rahimi, V., Pourkhabaz, H.R., Aghdar, H., and Mohammadyari, F., 2015. Comparison of Fuzzy AHP Buckley and ANP for forestry capability evaluation. Applied Ecology 4(13): 15-30. (In Persian with English Summary)
Roig-Tierno, N., Baviera-Puig, A., Buitrago-Vera, J., and Mas-Verdu, F., 2013. The retail site location decision process using GIS and the analytical hierarchy process. Applied Geography 40: 191-198.
Romano, G., Dal Sasso, P., Liuzzi, G.T., and Gentile, F., 2015. Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. Land Use Policy 48: 131-143.
Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences 1(1): 83-98.
Said-Jalali, S.A., Sarmadian, F., and Shorafa, M., 2016. Land suitability evaluation using Fuzzy simulation and Fuzzy AHP methods for irrigated Wheat. Journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Sciences) 30(2): 149-159. (In Persian with English Summary)
Sani, N.A., Kafaky, S.B., Pukkala, T., and Mataji, A., 2016. Integrated use of GIS, remote sensing and multi-criteria decision analysis to assess ecological land suitability in multi-functional forestry. Journal of Forestry Research 27(5): 1127-1135.
Tercan, E., and Dereli, M.A., 2020. Development of a land suitability model for citrus cultivation using GIS and multi-criteria assessment techniques in Antalya province of Turkey. Ecological Indicators 117: 106549.
Worqlul, A.W., Jeong, J., Dile, Y.T., Osorio, J., Schmitter, P., Gerik, T., and Clark, N., 2017. Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater in Ethiopia. Applied Geography 85: 1-13.
Xu, E., and Zhang, H., 2013. Spatially-explicit sensitivity analysis for land suitability evaluation. Applied Geography 45: 1-9.
Xu, Y., Sun, J., Zhang, J., Xu, Y., Zhang, M., and Liao, X., 2012. Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of environmental suitability for living in China’s 35 major cities. International Journal of Geographical Information Science 26(9): 1603-1623.
Yalew, S.G., Van Griensven, A., and Van Der Zaag, P., 2016. AgriSuit: A web-based GIS-MCDA framework for agricultural land suitability assessment. Computers and Electronics in Agriculture 128: 1-8.
Zhang, J., Su, Y., Wu, J., and Liang, H., 2015. GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China. Computers and Electronics in Agriculture 114: 202-211.
Zolekar, R.B., and Bhagat, V.S., 2015. Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach. Computers and Electronics in Agriculture 118: 300-321.